

水中における身体抵抗とキック力の効果

田口 信教*, 伊藤 雅浩*, 芝山秀太郎*

Effects of Swimmer's Kick on Water Resistance.

Nobutaka TAGUCHI, Masahiro ITOH, and Hidetaro SHIBAYAMA

Abstract

The swimmer's forward speed is the result of two forces. One force is tending to hold him back; that is, water resistance. The force which pushes him forward is propulsion, and is created by his arms and legs.

The swimmer, in order to swim faster, must do one of the following: (1) decrease resistance, or (2) increase propulsion. The greatest improvements in stroke mechanics recently have been in the reduction of resistance. The study of swimming faster is concerned with the type of training that will best enable the swimmer, physiologically, to maintain the highest possible level of propulsion and the least amount of resistance during the swimming race.

The resistance created by the swimmers who belong to the NIFS swimming club, is lowest, 5.9 kg of average, when dragged in the prone position. The increasing order of drag is 8.4 kg of average in the crawl stroke, and 12.6 kg of average in the breast stroke.

To measure whether a swimmer receives any propulsion from the kick, the tension was recorded to see if it was greater, the same or less when kicking than just being dragged in the prone position.

Generally, at the lower speed of 1.5 m/sec, when excellent swimmers kicked at maximum effort, the tension decreased. But, when the swimmers were pulled at speed greater than 1.5 m/sec, they not only did not contribute anything to the speed at which they were being dragged, but also, actually created an increased drag as a result of their kicking. There were individual differences, that is, the average swimmers' kicks became ineffective at between 1.5 m/sec and 2.0 m/sec.

KEY WORDS: *Swimmer's kick, Water resistance, Stroke mechanics, Prone position*

* 鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Kagoshima, Japan.

結 言

水泳運動時には、身体と水とのあいだに抵抗が生じる。とくに水中を前進する身体抵抗としては、皮膚と水との間の摩擦抵抗、波を起こすことによる造波抵抗、および前進時に渦を生み出す造渦抵抗が代表的なものとして挙げられている⁵⁾¹⁰⁾。これら3種類の身体抵抗は、それぞれ別個にその大きさを測定することは困難であるが、宮下らは、その総和を計測する方法を提案している⁹⁾。すなわち、Councilmanの測定法を簡略化し、水中に浮かぶ身体をロープで牽引し、そのときのロープに加わる張力を計測するというものである。

東京オリンピックの日米代表選手の身体水抵抗を測定したその報告によれば、上肢および下肢を伸展させ、頭部を水中に没した伸長伏臥位姿勢では、流速0.7m/secのときアメリカ Clerk 選手では1.2kgを示し、日本選手の0.5kgを大きく上まわったが、流速2.2m/secでは Clerk 選手も日本選手ともに11.8kgとなり、日本選手における身体水抵抗は、スピードを増すにつれ、指数函数的な増加の程度が極端に大きくなるという⁹⁾。このことは遅いスピードで泳ぐときは、抵抗が小さいのでスキルで泳速をカバーすることができるが、早いスピードで泳ぐ際には、抵抗増加をより強い筋力発揮で補わなければならないことを意味する。

水泳運動時の推進力は、水中を前進する際に受けるこの身体抵抗のうち勝つだけの大きさが必要である²⁾。宮下らは、身体抵抗を R (kg)、水泳スピードを V (m/sec) としたとき、

$$R=2.51V^{1.92}$$

という実験式が成り立つとした⁹⁾。田古里も、水中における身体全抵抗は、およそ、流速の二乗に比例すると報告している。すなわち、水泳の推進力を一定とすれば、抵抗を1%減ずるとき、水泳速度はおよそ0.5%増加の計算になるという¹³⁾。

水泳競技の世界記録は、年を追うごとに向上しており、ソウル五輪では、100m自由形に48秒42が記録された。国際競技界のトップレベルでは、スピードが0.3%増すとき、記録は0.15秒短縮されることになり、これは、距離にしておよそ30cmの差

に相当する³⁾¹⁴⁾。

水泳運動時には、こうした推進抵抗のうち勝つ推進力を、上肢および下肢筋群で生み出す必要がある¹⁾。宮下は、自由形の水泳選手では、水中推進力は $r=0.77$ ($P<0.01$) で腕筋力と相関すると述べている¹⁰⁾。しかし、上肢や下肢の筋運動は反復動作であり、推進力を生み出す運動ばかりでなく、腕や脚をもとの位置に戻すだけのリカバー運動も含まれており、推進力は絶えず大きくなり小さくなったりする。したがって、水泳運動においては、推進力増強と並んで、身体抵抗の減少という問題も、競技力向上の不可欠の条件と考えられる¹²⁾¹⁷⁾。

本研究では、水中における身体抵抗を測定し、まず下肢筋群の生み出す推進力が、水泳運動にたいし、どの程度寄与しているかを明らかにしようとした。

実験方法

水中における身体抵抗は、Councilman⁴⁾の方法を参考にし、垂直循環型のスイムミル(鹿屋体育大学)の流速を調節することにより測定した。身体水抵抗の検出には、歪みゲージ内蔵のロードセル(日本光電製)を用い、図1のような実験条件を設定した。被検者は、水面上で伸長伏臥位姿勢をとり、ロープ先端のハンドルを両手で握り、頭を両上肢の間に挟んで水中に没した状態とした。このような水中における身体抵抗測定の状況を図2に示した。

被検者には、水泳運動に習熟した鹿屋体育大学水泳部員19名(男子9名、女子10名)をえらんだ。年齢は19~22歳に分布した。これら被検者の身体特性を表1に示した。いずれも、同年代の日本人平均とほぼ近似しているが、男女とも、やや体脂肪量の大きい傾向にあった。脂肪の比重が0.92と、1より小さい上に、肺活量も大きいことがすでに報告されており¹⁶⁾、肺に空気を取り入れた状態では、浮力のある身体を特徴づける意味があり、水泳運動にたいする一種の適応と考えられる。

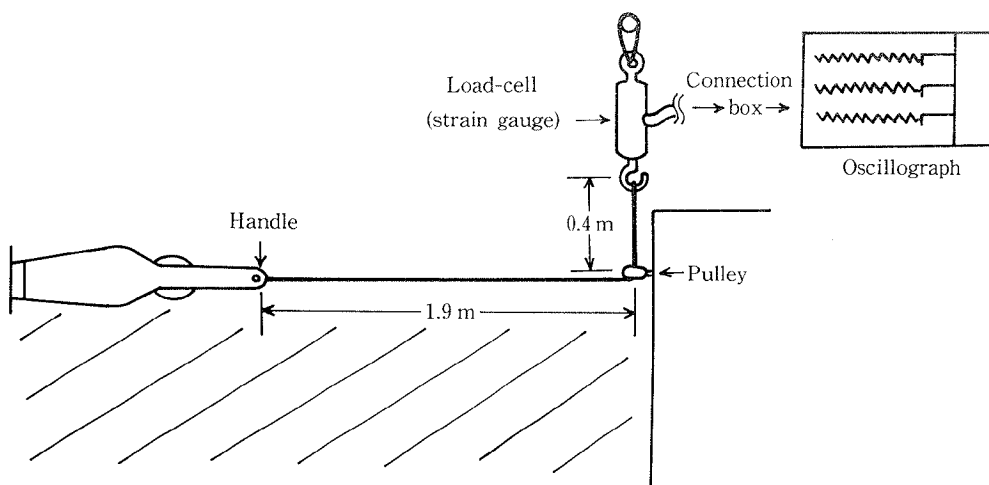


Fig. 1 Diagram showing the measurement of water resistance of the swimmer.

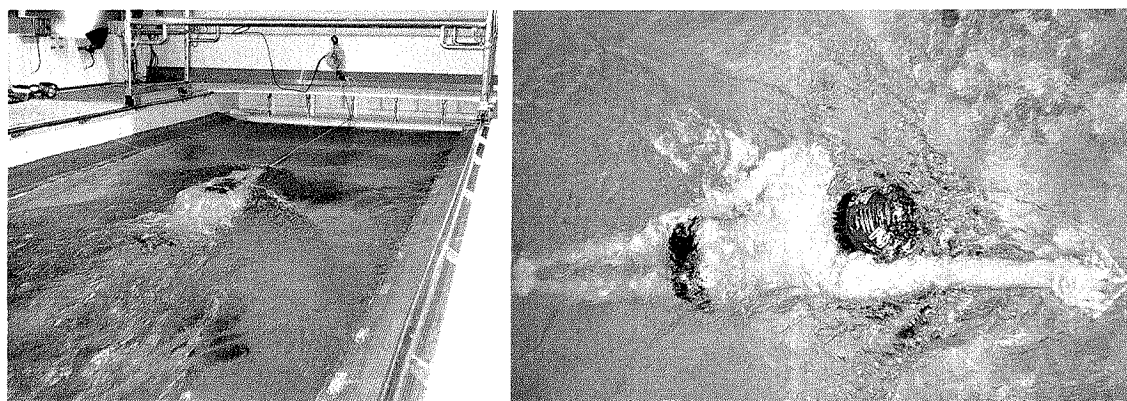


Fig. 2 Photograph showing the experiments.

Left : Prone position
Right : Crawl stroke position

実験成績

1. 水中における身体抵抗

水泳運動時の身体抵抗は、一般に100m競泳時に最大値を示すと考えられるが、この全抵抗を、たとえば平泳ぎの日本記録に相当する1.5 m/secのスピードにおいて測定したものを表2に示した。伸長伏臥位姿勢を「姿勢1」と表示してあるが、平均5.9 kg (Range 4.5 - 7.0 kg) であった。なおこの表には、「姿勢2」として右手前方左手体側の自由形姿勢 (平均8.4 kg, Range 6.7 - 10.0 kg) および

「姿勢3」として平泳ぎキックの最大屈曲時伏臥位姿勢 (平均12.6 kg, Range 10.0-18.2 kg) における、それぞれ身体抵抗を示した。

水中における身体抵抗は、自由形姿勢 (姿勢2) においてすでに伸長伏臥位姿勢の42%増となり、平泳ぎキックの姿勢では、自由形姿勢の2倍以上の抵抗が加わることになる。図3は、同一被検者にこれら3姿勢を水中で保持させたときの、水中における身体抵抗の記録例を示した。このときの流速は1.5 m/secであった。

2. 身体抵抗にたいする過負荷の効果

Table 1. Physical characteristics of subjects

	Age (yr)	Sex	Body height (cm)	Body weight (kg)	Chest girth (cm)	Body fat (%)	Rohrer's Index
T J I	22	m	164.9	56.0	87.8	—	124
S D O	22	m	169.0	77.5	102.5	20.62	160
A O M	20	m	177.0	68.1	100.2	9.34	122
I S H	20	m	171.0	65.0	95.0	10.13	129
H N A	19	m	168.0	64.0	96.4	13.30	134
Y O K	19	m	168.0	61.3	93.4	8.17	129
M I Z	19	m	172.0	63.5	89.6	10.92	124
H R A	19	m	174.2	65.5	95.3	8.56	123
T A N	19	m	171.0	63.2	96.0	9.73	126
\bar{x}			170.6	64.9	95.1	11.35	130
Y A M	21	f	161.1	56.0	88.0	15.72	133
Y O S	21	f	158.2	54.4	87.5	14.51	137
T A K	21	f	152.3	54.0	89.0	20.62	152
K R O	21	f	159.6	45.3	79.5	18.57	111
M A K	21	f	150.9	55.0	90.0	30.79	160
H A S	20	f	162.0	60.0	90.5	16.12	141
Y K I	20	f	162.5	52.5	84.2	19.76	122
K J I	20	f	158.8	62.8	90.2	24.00	156
M N A	19	f	153.5	52.5	87.0	—	145
T O M	19	f	161.3	53.2	82.5	18.98	126
\bar{x}			158.0	54.6	86.8	19.90	138

水泳運動時の身体抵抗は、四肢の筋群の生み出す筋力により、これにうち勝って前進するが、近年この推進抵抗を過大にしてトレーニング条件を厳しくする方法が考案されている⁴⁾¹⁵⁾。すなわち drag suit と呼ばれる水着の着用である。この drag suit は主として水の摩擦抵抗を増大させるための布状のポケットが水着に付加されており、これが水中における推進抵抗を著しく大きくする効果を有している。

たとえば流速を 2.0 m/sec とした場合の、同一被検者における水中の身体抵抗の推移を図 4 に示した。同図の右側は、通常の水着のみの着用で、水中を牽引されているときの身体抵抗で、およそ 15

kg 前後を示しているのに対し、図の左側の drag suit 着用時には、25-29 kg 程度と 70% 増の抵抗が付加されている。水中における過負荷は、身体抵抗を著しく増大させることが認められた。

3. 身体抵抗にたいするキック力の効果

水泳運動時の身体抵抗は、推進抵抗として働くため、キック力は、この推進抵抗を減ずる方向に作用させるのを原則とする。しかし、身体抵抗は、水泳スピードすなわち水の流速によって異なるため、流速を、前述した 1.5 m/sec および自由形の日本記録に相当する 2.0 m/sec に調節して、身体抵抗を記録し、あわせて、キック力がこの全抵抗に及ぼす効果を観察した。

Table 2. Water resistance of swimmers at various positions
(単位 kg)

		Position 1	Position 2	Position 3
male	T J I	6.1	8.5	13.9
	S D O	6.7	10.0	13.0
	A O M	6.4	8.8	15.5
	I S H	6.1	7.6	13.6
	H N A	6.4	8.5	13.9
	Y O K	6.1	7.3	11.5
	M I Z	6.7	9.1	13.0
	H R A	6.4	9.4	12.7
	T A N	7.0	8.8	12.1
	\bar{x}	6.4	8.7	13.2
female	Y A M	5.8	8.2	11.2
	Y O S	5.2	6.7	10.3
	T A K	4.5	7.0	12.7
	K R O	4.8	7.0	10.0
	M A K	5.5	10.0	18.2
	H A S	6.1	10.0	10.9
	Y K I	6.1	8.2	12.7
	K J I	5.8	8.2	11.8
	M N A	5.5	7.6	11.5
	T O M	5.8	9.1	10.6
	\bar{x}	5.5	8.2	12.0

姿勢1の平均 = 5.9 kg

姿勢1 伸長伏臥位姿勢

姿勢2の平均 = 8.4 kg

姿勢2 右手前方左手体側伏臥位姿勢

姿勢3の平均 = 12.6 kg

姿勢3 平泳ぎキックの最大屈曲時伏臥位姿勢

SUB: MAK, 21y

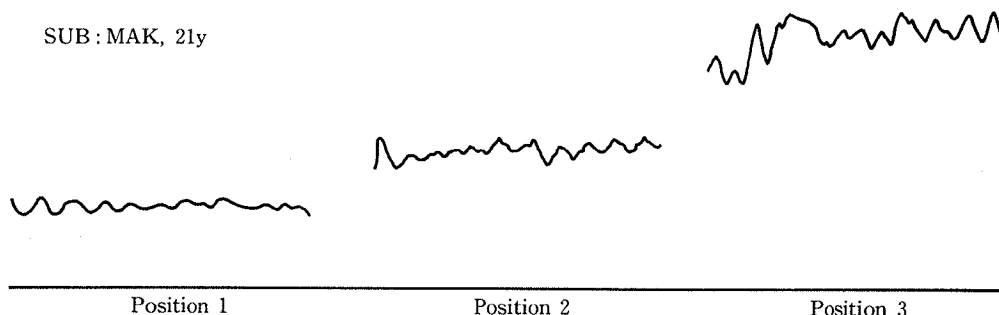


Fig. 3 The records of water resistance at 3 positions on a swimmer.

同一被検者にたいし, 流速 1.5 m/sec および 2.0 m/sec で水中を牽引したときの, 身体抵抗変化の曲線を図5に示した。同図では, 自由形のキック

を行わせたときの力曲線が, 身体抵抗曲線をどのように修飾するかを重ね合せて示した。図5の左側に示すように, スピード 1.5 m/sec のときの自由

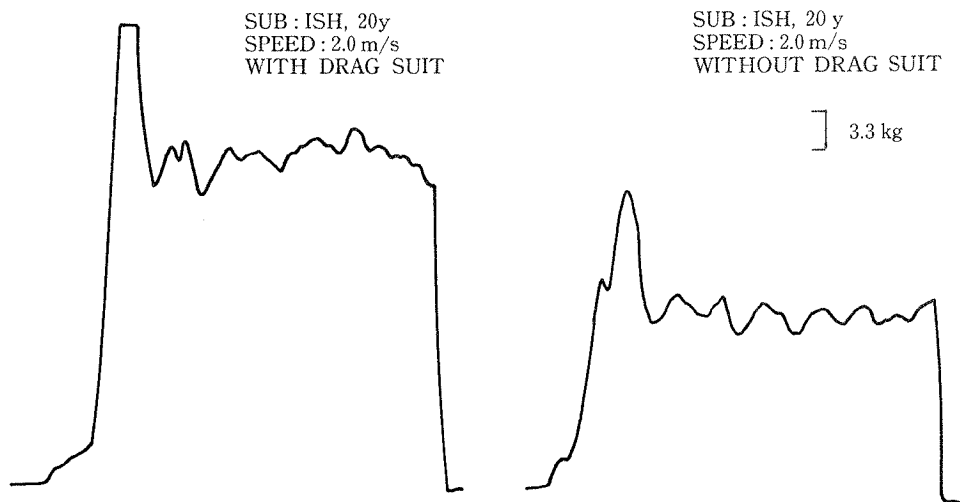


Fig. 4 Water resistance curve of a swimmer with or without drag suit.

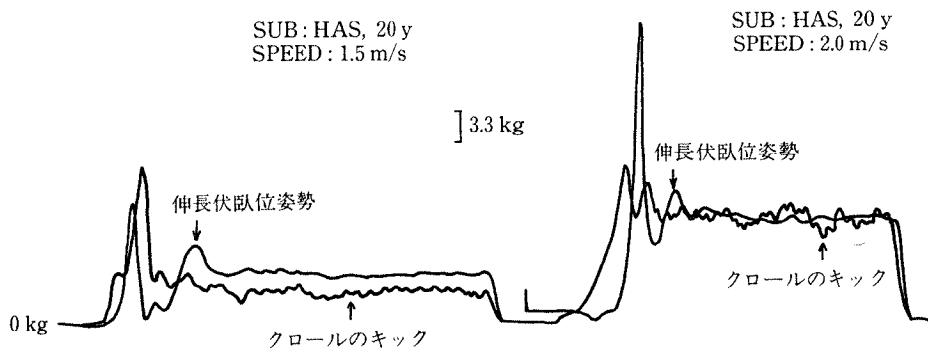


Fig. 5 Water resistance curve of a swimmer at different speeds with or without kick of crawl stroke.

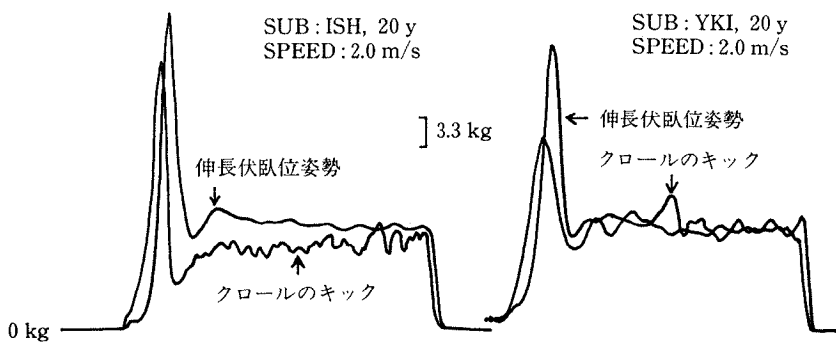


Fig. 6 Water resistance curve of swimmers with or without kick of crawl stroke.

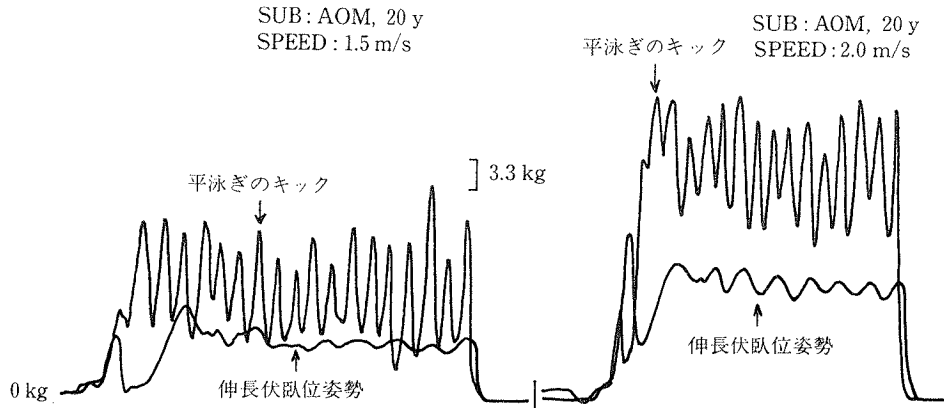


Fig. 7 Water resistance curve of a swimmer with or without kick of breast stroke.

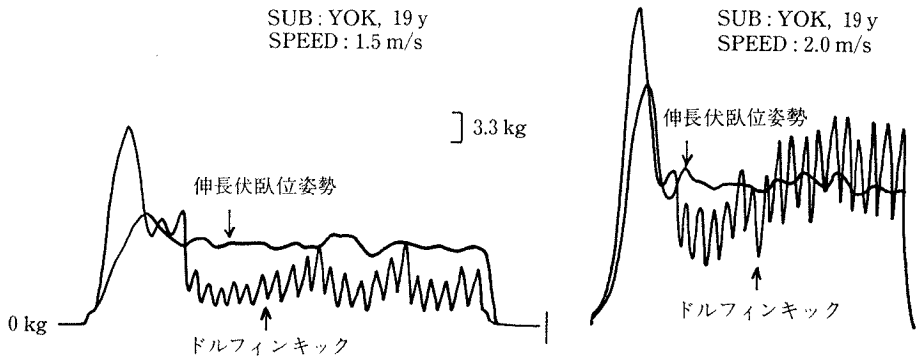


Fig. 8 Water resistance curve of a swimmer with or without dolphin kick of butterfly stroke.

形のキック力は、明らかに身体抵抗を減じて推進力にプラスする働きとなっていることが理解されるが、スピードが2.0 m/secに増加したときは、図5の右側に示すように、自由形のキックが泳速にプラスされていないことがわかる。

図6には、同一のスピード2.0 m/secで牽引したときの身体抵抗曲線に、自由形のキック力がプラスに働いた例、および効果がないか、むしろマイナスに働いた例を示した。泳力の高い被検者ISH（左側）の場合は、キックすることによって抵抗曲線のレベルを減じているが、泳力の弱い被検者YKI（右側）の場合は、身体抵抗曲線とほとんど同じレベルか、またはむしろ、高い水準で推移していることが観察された。

同一被検者にたいし、流速1.5 m/secおよび2.0 m/secで水中を牽引したときの、身体抵抗曲線および平泳ぎのキックを行かせたときの力曲線を、図7に示した。すでに平泳ぎの日本記録に相当する1.5 m/secのスピードで、キック力が推進力にたいしマイナスの働きを示していることがうかがわれ、2.0 m/secのスピードでは、キック動作自体が推進抵抗となっていることを表わしている。

図8には、きわめて泳力の高い同一被検者にたいし、流速1.5 m/secおよび2.0 m/secで牽引したときの、身体抵抗曲線およびドルフィン・キックを行かせたときの力曲線を示した。1.5 m/secのスピードでは、図8の左側に示すように、伸長伏臥位姿勢の身体抵抗を減ずるようにドルフィン・キッ

クが作用していることがわかる。しかし図8の右側に示す2.0 m/secのスピードでは、ドルフィン・キックの力が身体抵抗を減じてプラスの効果を示しているものの、後半は、むしろドルフィン・キックのためにかえって推進抵抗を増して、泳速低下にはたらいっていることがうかがわれる。

水泳運動時の身体抵抗にたいするキック力の効果は、一般に波動する推進力にたいし、プラスに働く場合ばかりでなく、逆効果となることもしばしば見られた。

考 察

水を利用しての身体運動である水泳競技では、前進する際に、前方から後方へ水による推進抵抗を受ける。この身体全抵抗のうち勝つだけの推進力を、上肢の動作、あるいは下肢のキック力で生み出すことによって、はじめて前進が可能となる⁵⁾⁷⁾。しかし、水泳運動における、いわゆる腕のかき、脚のけりは、推進力を直接生み出すことのほか、単に腕や脚をもとの位置に復すだけの動きを含んでいる。ランニングと同様、前進運動ではあるが、連続的に推進力を得ているわけではなく、1ストロークの間でも、大きく推進力が変動している¹⁾¹⁸⁾。

水泳競技力向上に際しては、大きな推進力獲得を条件にするのは当然で、推進力は筋力と高い正の相関を有することが明らかにされている⁴⁾⁶⁾⁹⁾。そこで、本研究では、推進力の変動に大きく関与する身体全抵抗の軽減方法を問題とした。

水泳の競技記録が、この推進抵抗に影響されることは前にも述べたが、その点から考えれば、先ず、身体抵抗の小さい姿勢を長時間にわたり保持しうることが重要となる。また、図5～8に示したように、下肢のキック力を、身体的全抵抗を減ずるようにはたらかせることも非常に重要である。

下肢のキック力、いわゆる脚のけりは、少なくとも伸長伏臥位姿勢時の身体抵抗を減ずるような力の発揮でなければならないが、自由形のキック、平泳ぎのキックあるいはバタフライのドルフィン・キックの例に示す(図8)のように、水泳スピードによっては、むしろ推進抵抗を増大してしまうよ

うなケースがみられる。

充分にトレーニングされたキック力の高い選手であれば、水泳運動時の脚のけりは、競技力向上の条件として有効に作用するが、脚筋のトレーニングが不十分の場合は、水泳運動の推進力は、その多くを上肢の「かき」により得られることが明らかにされている⁴⁾⁸⁾ので、むしろ、上肢の筋力トレーニングにより、主動作である腕のかきに、力を注ぐべきであろう³⁾⁸⁾。実際、図4に示したように、drag suit 着用により推進抵抗は少くとも40%、およそ70%程度の大きな増加がみられ、とくに主動作である上肢筋の筋放電の著しい増加が報告されている¹⁵⁾ので、この筋力強化には、絶好のトレーニング法と考えられる。

陸上における運動では、身体が固定された場所を支点とするのにたいし、水泳運動では、流れる水を支点とするために、より多くのエネルギー消費が要求される⁶⁾。したがって水泳スピードが大きくなればなるほど、発揮される推進力にたいする抵抗は、より小さくする努力が必要とされる。すなわち、スピード変化のより少ない泳法で、前進するエネルギーを浪費しないような工夫が求められよう。

総 括

水を利用しての身体運動である水泳競技では、前進する際に、前方から後方へという推進抵抗を受ける。したがって水中を泳ぐ際の推進力は、この水抵抗のうち勝つだけの大きさが必要である。抵抗を1%減ずるとき、水泳速度は0.5%増加するという。本研究では、身体抵抗を減ずるという観点から、水泳競技力向上の条件を検討した。身体抵抗の測定は、スイムミルの流速を調節することにより、水面上の伸長伏臥位姿勢を牽引する力として検出した。被検者には大学水泳部員19名をえらんだ。

身体抵抗は、平泳ぎの日本記録に相当するスピードにおいて、伸長伏臥位姿勢で平均5.9 kg、自由形姿勢で平均8.4 kg、平泳ぎキックの最大屈曲時伏臥位姿勢で平均12.6 kgであった。また推進抵抗を過負荷とするためのdrag suit 着用時には、伸長伏臥

位姿勢時の身体抵抗の70%増にあたる抵抗が付加された。

下肢のキック力は、この推進抵抗を減ずるはたらしきを有することが期待されるが、平泳ぎの日本記録に相当するスピード(1.5 m/sec)または自由形の日本記録に相当するスピード(2.0 m/sec)で身体抵抗曲線を記録し、これに下肢によるキック運動を付加して同様の水抵抗を記録したところ、キック力が、水抵抗を減ずる方向に作用する例と、逆に推進抵抗を大きくしてしまう場合とが観察された。

水泳スピードが大きくなればなるほど、発揮される推進力も大きくなければならないが、それには、筋力を増強することとならんで、身体抵抗を小さくする努力が要求される。十分にトレーニングされたキック力の高い選手では、脚のけりが、推進抵抗を減ずる役割を果たし、競技力向上の条件として有効であるが、脚筋のトレーニングが不十分の場合は、下肢はいうに及ばず、さらに上肢の筋力トレーニングにより、水泳運動の主動筋である腕のかきに、一層の力を注ぐべきであることが示唆された。

本研究を実施するにあたり、鹿屋体育大学水泳部員の好意あるご協力を頂いた。ここに記して厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Adrian, J. J., M. Singh and P. V. Karpovich: Energy cost of leg kick, arm stroke and whole crawl stroke., *J. Appl. Physiol.* 21, 1763-1776, 1966.
- 2) Alley, L. E.: An analysis of water resistance and propulsion in swimming the crawl stroke. *Res. Quart.* 23, 253-270, 1952.
- 3) Armbruster, D. A., R. H. Allen and H. S. Billingsley: *Swimming and diving.* The C. V. Mosby, St Louis, 1973.
- 4) Counsilman, J. E.: *The science of swimming.* Prentice Hall, New Jersey. 1968.
- 5) Hay, J. G.: *Swimming.* In "The biomechanics of sports techniques" 352-395. Prentice Hall. New Jersey. 1973.
- 6) Holmér, I.: *Physiology of swimming man.* In Hutton, R. S. and D. I. Miller eds. "Exercise and sports science reviews" 7, 87-123. Franklin Inst. Press. Philadelphia. 1980.
- 7) Margaria, R.: *Biomechanics and energetics of muscular exercise.* Clarendon Press. Oxford. 1976 (金子公宥訳: 身体運動のエネルギー, ベースボールマガジン社, 東京, 1978)
- 8) Miller, D. L.: *Biomechanics of swimming.* In Wilmore, J. H. and J. F. Keogh eds. "Exercise and sports science reviews" 3, 213-248. Academic Press. N. Y. 1975.
- 9) 宮下充正: 水泳の科学—キネシオロジーと指導への応用. 杏林書院. 東京, 1970.
- 10) 宮下充正・波多野勲・林 裕三: 競泳のコーチング. 大修館書店. 東京, 1986.
- 11) Persyn, U., H. Vervaecke and D. Verhetsel: Factors influencing stroke mechanics and speed in swimming the butterfly. In Matsui, H. and K. Kobayashi eds "Biomechanics VIII-B" 833-841. *Human Kinetics.* Illinois. 1983.
- 12) 芝山秀太郎: スポーツ活動に対するME機器の応用. *Biomed. Engineer.* 2 (4) 252-256. 1988.
- 13) 田古里哲夫・荒川忠一・増永公明・岡本 恒: 水泳における人体の姿勢と水着に関する流体力学的研究. *デサントスポーツ科学*, 6, 185-203. 1985.
- 14) 田口信教: 水泳トレーニングにおける科学の役割. *人類動態学会報*, 51, 17-18. 1986.
- 15) Taguchi, N., H. Shibayama and M. Miyashita: Mechanical and physiological added loads during swimming with a drag suit. *Abstracts 5th Int'l. Symp. Biomechanics Med. Swimming.* 77. 1986.
- 16) 田口信教・芝山秀太郎・深代千之・田畑 泉・深代泰子: 低圧環境下の流水プールにおける水泳トレーニング. *デサントスポーツ科学*, 8, 156-167. 1987.
- 17) 田口信教: 水泳パフォーマンス向上の条件. 渡辺和彦編「スポーツ・パフォーマンスの環境」4-10, 杏林書院. 東京, 1989.
- 18) Ungerechts, B. E.: A comparison of the movements of the rear parts of dolphins and butterfly swimmers. In Hollander, A. P., P. A. Huijing and G. Groot eds. "Biomechanics and medicine in swimming" 14, 215-221. 1983.